

AN: PAT 1996-106581

TI: Mfg. turbine rotor disc with curved cooling air channels includes using a tool having circular arc and rotating about the centre of the cooling air channel, etc.

PN: DE4428207-A1

PD: 15.02.1996

AB: In the prodn. of a curved cooling air channel (4), by electroerosive or electrochemical machining, in a turbine rotor disk (1) carrying air-cooled blades, a tool (7) which takes the form of a circular arc, and is rotated about the centre (9) of the cooling air channel (4) also taking the form of a circular arc. Such cooling air channels enter into the disk slot (5) and are oriented substantially perpendicular to the slot bottom.; USE - Used in turbine mfr. ADVANTAGE - Stress concns are reduced in comparison with those produced by known mfr.

PA: (BAYM ) BMW ROLLS ROYCE GMBH;

IN: PHIPPS A; PLATH A; SCHILLINGER T;

FA: DE4428207-A1 15.02.1996;

CO: DE;

IC: B23H-001/04; B23H-003/04; F01D-005/08;

MC: M11-H03; M23-D06; X11-A01X;

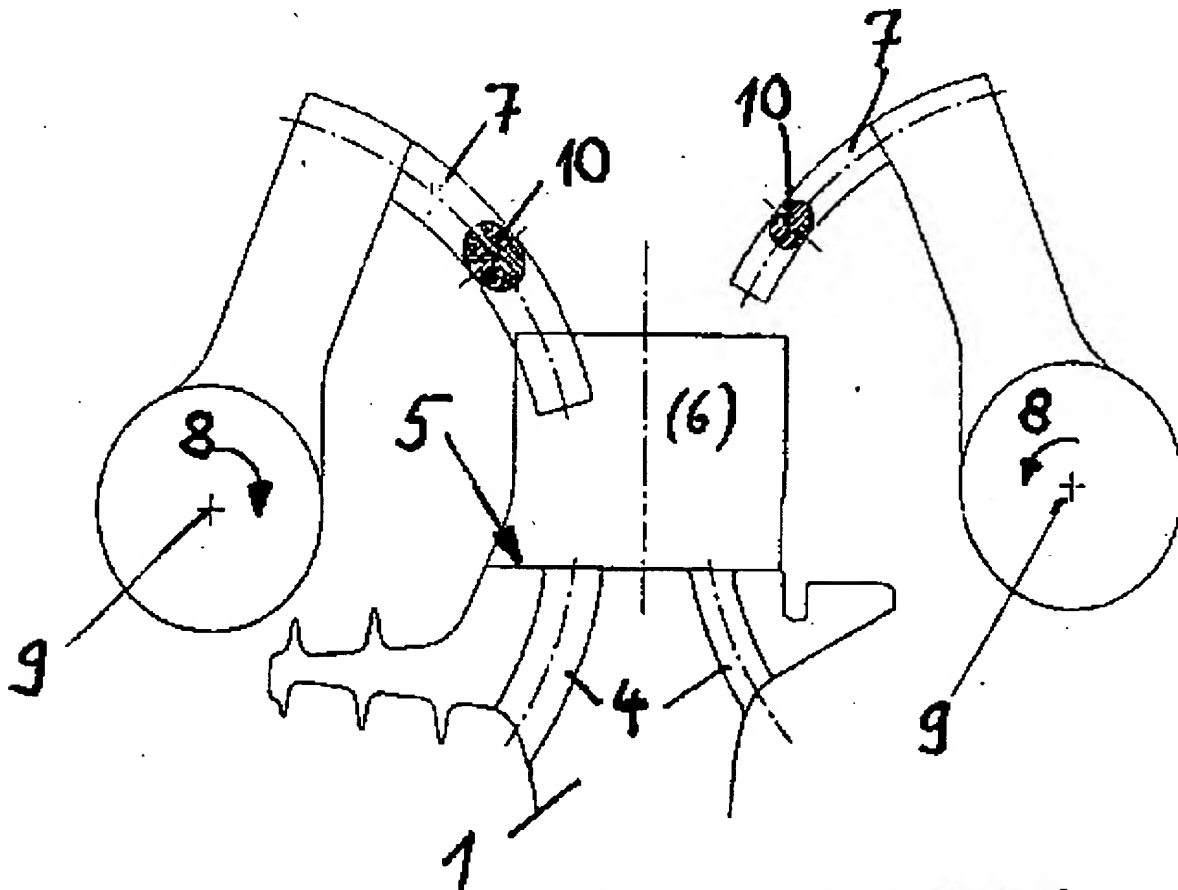
DC: M11; P54; Q51; X11;

FN: 1996106581.gif

PR: DE4428207 09.08.1994;

FP: 15.02.1996

UP: 18.03.1996



BEST AVAILABLE COPY

**This Page Blank (uspto)**



⑬ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 28 207 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 23 H 1/04**  
B 23 H 3/04  
F 01 D 5/08  
// B 23 P 15/04

⑲ Aktenzeichen: P 44 28 207.9  
⑳ Anmeldetag: 9. 8. 94  
㉑ Offenlegungstag: 15. 2. 96

**DE 44 28 207 A 1**

⑦ Anmelder:  
BMW Rolls-Royce GmbH, 61440 Oberursel, DE

⑧ Erfinder:  
Schillinger, Thomas, 12357 Berlin, DE; Plath, Armin,  
Dr., 14612 Falkensee, DE; Phipps, Anthony, 12305  
Berlin, DE

⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 29 47 521 C2  
DE-AS 12 93 001  
DE-AS 11 18 374  
DE 35 31 761 A1  
US 43 44 738  
US 39 95 134  
SU 12 28 987 A1  
SU 11 74 198 A  
SU 75 097  
JP 56-95546 A., In: Patents Abstracts of Japan,  
M-94, Oct. 29, 1981, Vol. 5, No. 170;

⑤ Turbinen-Laufradscheibe mit gekrümmtem Kühlluftkanal sowie Herstellverfahren hierfür

⑦ Die Laufradscheibe einer Gasturbine weist kreisbogenförmig gekrümmte Kühlluftkanäle auf, über die luftgekühlte Turbinenschaufeln mit Kühlluft versorgt werden. Diese Kühlluftkanäle treten im wesentlichen senkrecht zum Grund der Scheibennut in diese aus und sind von nichtkreisförmigem, insbesondere elliptischem Querschnitt, wodurch die Spannungskonzentrationen im Grund der Scheibennut gering gehalten werden. Erzeugt werden diese Kühlluftkanäle durch Elektroerosion oder elektrochemische Bearbeitung, wobei ein kreisbogenförmiges Werkzeug zum Einsatz kommt, das um das Zentrum des kreisbogenförmig gekrümmten Kühlluftkanals geschwenkt wird.

**DE 44 28 207 A 1**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen eines gekrümmten Kühlluftkanales in einer luftgekühlten Turbinenschaufeln tragenden Laufradscheibe, insbesondere einer Gasturbine, durch Elektroerosion oder elektrochemische Bearbeitung. Ferner betrifft die Erfindung eine Laufradscheibe insbesondere einer Gasturbine mit zumindest einem gekrümmten Kühlluftkanal zur Versorgung der an der Scheibe befestigten luftgekühlten Turbinenschaufeln mit Kühlluft.

Luftgekühlten Turbinenschaufeln kann die Kühlluft entweder direkt über den Schaufelfuß zugeführt werden, wie dies die DE 28 05 851 B2 zeigt, oder auch über eine korrespondierende Bohrung oder dgl. in der Laufradscheibe. Über diese Bohrung gelangt dann die Kühlluft in einen Spalt unterhalb des Schaufelfußes, von wo sie weiter durch entsprechende Kanäle in die Schaufel geleitet wird.

Üblicherweise werden diese Kühlluftkanäle in die Laufradscheiben durch konventionelles Bohren eingebracht und weisen daher einen kreisrunden Querschnitt sowie eine gerade verlaufende Lochachse auf. Der Lochdurchbruch im Grund der Scheibennut erfolgt dabei üblicherweise in einem spitzen Winkel, da das andere Ende des Kühlluftkanales bzw. der Bohrung im Bereich der Seitenfläche der Laufradscheibe liegen soll. Im Mündungsbereich des Kühlluftkanales im Grund der Scheibennut überlagern sich die räumlichen Felder der einzelnen Spannungskonzentrationen für die Umfangsspannungen und erzeugen örtlich stark überhöhte Spannungsamplituden, was im Hinblick auf die Betriebs-Dauerfestigkeit unerwünscht ist. Dabei wächst bei gegebenen Querschnitten für die Scheibennut und den diese durchdringenden Kühlluftkanal die Spannungsüberhöhung mit spitzer werdendem Durchbruchswinkel stark an.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, Maßnahmen aufzuzeigen, mit Hilfe derer die beschriebenen Spannungskonzentrationen im Grund der Laufrad-Scheibennut reduziert werden können.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist vorgesehen, daß beim Herstellverfahren des Kühlluftkanales durch Elektroerosion ein kreisbogenförmiges Werkzeug zum elektroerosiven Bearbeiten und beim Herstellverfahren durch elektrochemische Bearbeitung ein hierfür geeignetes kreisbogenförmiges Werkzeug zum Einsatz kommt, das um das Zentrum des kreisbogenförmigen gekrümmten Luftkanales geschwenkt wird. Eine Laufradscheibe insbesondere einer Gasturbine mit einem gekrümmten Kühlluftkanal ist demzufolge dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlluftkanal einen Kreisbogen beschreibt und im wesentlichen senkrecht zum Grund der Scheibennut in diese austritt. Vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen sind Inhalt der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß wird der ein Segment eines Kreisbogens beschreibende Kühlluftkanal in der Laufradscheibe nach einem ersten Verfahren durch Elektroerosion mittels eines kreisbogenförmigen Werkzeuges, insbesondere einer kreisbogenförmigen Elektrode erzeugt. Dieses Herstellverfahren von Bohrungen bzw. Löchern ist auch unter dem Namen EDM-Verfahren bekannt. Dabei ist es aus der DE 27 43 355 C2 bereits bekannt, daß ein gekrümmter Kühlluftschlitz in einer Turbinenschaufel mittels elektrischer Lichtbogenentladung unter Verwendung einer gekrümmten Elektrode erzeugt werden kann. Jedoch findet sich in diesem bekannten Stand der Technik kein Hinweis, eine kreisbogenförmige Elek-

trode wie beschrieben zu verschwenken, um in einer Laufradscheibe, insbesondere einer Gasturbine, einen kreisbogenförmig gekrümmten Kühlluftkanal zu erzeugen. Insbesondere findet sich in diesem bekannten Stand der Technik auch nicht der Hinweis, daß der ein Segment eines Kreisbogens beschreibende Kühlluftkanal im wesentlichen senkrecht zum Grund der Scheibennut in diese austritt, um das Auftreten stark überhöhter Spannungsamplituden zu vermeiden.

Nach einem zweiten Verfahren wird der ein Segment eines Kreisbogens beschreibende Kühlluftkanal durch elektrochemische Bearbeitung erzeugt, wobei abermals ein kreisbogenförmiges Werkzeug entsprechend verschwenkt wird. Bei diesem elektrochemischen Bearbeitungsverfahren, auch ECM-Verfahren (electro chemical machining) genannt, wird anstelle eines Bohrers oder einer Elektrode eine Kapillare — zumeist aus Glas oder Glaskeramik — verwendet, durch die eine Säure geleitet wird. Zwischen dem zu bearbeitenden Werkstück sowie einer meist in oder an der Kapillare angebrachten Elektrode wird dann elektrische Spannung angelegt, so daß die Säure bzw. das Spülmedium gleichzeitig die Funktion eines Elektrolyten erfüllt. Der Materialabtrag erfolgt dabei bekanntermaßen rein elektrochemisch, während er beim eingangs beschriebenen EDM-Verfahren durch lokales Aufschmelzen erfolgt.

Das erfindungsgemäße Herstellverfahren für einen Kühlluftkanal in einer Laufradscheibe erlaubt es zusätzlich, diesen Kanal mit einem anderen als einem kreisrunden Querschnitt zu versehen. Beispielsweise kann der Kühlluftkanal einen elliptischen Querschnitt besitzen, wobei die Längsachse der Ellipse in Umfangsrichtung der Laufradscheibe weist. Hierzu muß sich die für die Elektroerosion oder die elektrochemische Bearbeitung eingesetzte kreisbogenförmige Werkzeug lediglich von elliptischem oder generell nicht kreisförmigem Querschnitt sein. Mit dieser Maßnahme läßt sich die auftretende Spannungskonzentration im Scheibengrund noch weiter reduzieren, wie an sich grundsätzlich aus der EP 0 335 481 B1 bekannt ist. Neben einer elliptischen Formgebung sind aber auch beliebige andere Querschnittsformen für den Kühlluftkanal möglich, wie beispielsweise Langlöcher, analytische Formen oder nierenförmige Profile, die neben geringeren Werten der Spannungskonzentration auch zur Folge haben, daß die geometrischen Orte der einzelnen Spannungskonzentrationen des Kühlluftkanal-Durchbruchs sowie der Nut verschieden sind. In dieser Erkenntnis liegt ein wesentlicher Unterschied zum bekannten Stand der Technik nach der EP 0 335 481 B1.

Nach Abschluß des elektroerosiven/funkenerosiven Prozesses bzw. nach Abschluß des elektrochemischen Bearbeitungsprozesses sollte die dabei entstandene Aufschmelzzone bzw. die angeätzte Oberfläche des so entstandenen gekrümmten Kühlluftkanales — der sog. "recast-Layer" — entfernt werden. Hierzu wird das an sich bekannte Druckfließbläppen (abrasive flow machining) mit einem viscoelastischen Schleifmedium vorgeschlagen. Dieses Verfahren wird im übrigen bereits zum Verrunden der Verschneidungskanten bisheriger Bohrungsdurchbrüche herangezogen.

Die beigefügten Prinzipskizzen dienen der näheren Erläuterung der Erfindung. Dabei zeigt

Fig. 1 eine erste Anordnung zum Erzeugen kreisbogenförmig gekrümmter Kühlluftkanäle in einer Turbinen-Laufradscheibe,

Fig. 2 eine zweite Anordnung zum Erzeugen dieser Kühlluftkanäle durch Elektroerosion,

Fig. 3 eine Stufe im Hochdruckteil einer Gasturbine zur Erläuterung der Lage des Kühlluftkanales, sowie Fig. 4 den Ausschnitt X aus Fig. 3 als bekannten Stand der Technik.

Eine nicht näher dargestellte Gasturbine besitzt — wie Fig. 3 zeigt — mehrere Laufradscheiben 1, über deren Umfang wie bekannt eine Vielzahl von Turbinenschaufeln 2 angeordnet sind. Letztere sind luftgekühlt, so daß in jeder Turbinenschaufel 2 Kühlluftkanäle 3, die schematisch in Fig. 4 dargestellt sind, verlaufen. Mit Kühlluft versorgt werden diese Kühlluftkanäle 3 über Kühlluftkanäle 4, die in der Laufradscheibe 1 vorgesehen sind und jeweils in der Scheibennut 5, in die wie bekannt der Fuß 6 der Turbinenschaufel 2 eingesteckt ist, münden.

In den Fig. 3, 4 ist dabei der bekannte Stand der Technik dargestellt, wonach die Kühlluftkanäle 4 in der Laufradscheibe 1 als geradlinig verlaufende kreisrunde Bohrungen ausgebildet sind. Diese bekannte Gestaltung besitzt jedoch die eingangs beschriebenen Nachteile, die mit kreisbogenförmig ausgebildeten Kühlluftkanälen 4, die bevorzugt einen elliptischen Querschnitt aufweisen, vermieden werden können. Dargestellt sind derartige Kühlluftkanäle 4 in der Laufradscheibe 1, die durch ein Segment eines Kreisbogens beschrieben werden, in den Fig. 1, 2. Wie ersichtlich tritt dabei jeder kreisbogenförmige Kühlluftkanal im wesentlichen senkrecht zum Grund der Scheibennut 5 in diese aus.

Erzeugt werden kann dieser gekrümmte Kühlluftkanal 4 durch Elektroerosion mittels einer kreisbogenförmigen Elektrode 7 — generell Werkzeug 7 genannt —, die gemäß Pfeilrichtung 8 um das Zentrum 9 des kreisbogenförmig gekrümmten Kühlluftkanals 4 geschwenkt wird. Dieses elektroerosive Erzeugen von Kanälen bzw. Löchern ist unter der Bezeichnung EDM-Verfahren bekannt und wird daher nicht näher erläutert. Der wesentliche Unterschied zum gängigen EDM-Verfahren, mit Hilfe dessen geradlinig verlaufende Bohrungen bzw. Kanäle erzeugt werden können, besteht hier darin, daß jede Elektrode 7 nicht mit einem linearen Vorschub entsprechend der Abtragsrate in das Werkstück bzw. die Laufradscheibe 1 eingefahren wird, sondern bogenförmig geführt eine Schwenkbewegung um das Zentrum 9 der Krümmung des Kühlluftkanals 4 beschreibt. Dabei kann nach dem erfindungsgemäßen Verfahren die Elektrode 7 entweder von oben her, d. h. von der Scheibennut 5 her in die Laufradscheibe 1 eingefahren werden, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist, oder auch von unten her, wie dies Fig. 2 zeigt.

Erzeugt werden kann dieser gekrümmte Kühlluftkanal 4 aber auch durch elektrochemisches Bearbeiten ebenfalls mittels eines kreisbogenförmigen Werkzeuges 7. Hier kommt als Werkzeug die bereits eingangs in diesem Zusammenhang beschriebene Kapillare aus Glas oder Glaskeramik zum Einsatz, durch die eine Säure geleitet wird.

Da das Werkzeug 7 — wie Fig. 1 zeigt — einen elliptischen Querschnitt 10 besitzt, weist somit auch jeder Kühlluftkanal 4 einen elliptischen Querschnitt auf, wobei die Längsachse der Ellipse in Umfangsrichtung der Laufradscheibe 2 zeigt. Im gezeigten Fall besitzt diese Ellipse ein Seitenverhältnis 1 : 1,25, jedoch kann dies sowie weitere Details insbesondere konstruktiver Art durchaus abweichend vom gezeigten Ausführungsbeispiel gestaltet sein, ohne den Inhalt der Patentansprüche zu verlassen. Insbesondere kann der Querschnitt auch nierenförmig oder generell nicht kreisförmig sein. Stets werden mit den beschriebenen Maßnahmen die Span-

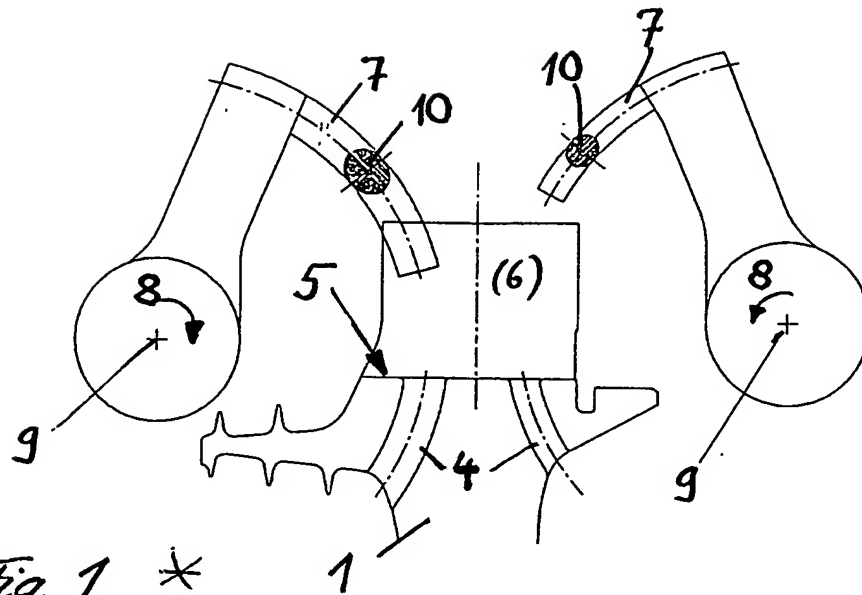
nungskonzentrationen insbesondere im Grund der Scheibennut 5 herabgesetzt, vorteilhafterweise wird mit diesem Herstellverfahren für die Kühlluftkanäle 4 auch die Gefahr verringert, das Tannenbaumprofil, mit dem die Turbinenschaufel 2 von der Laufradscheibe 1 aufgenommen wird, zu verletzen.

#### Patentansprüche

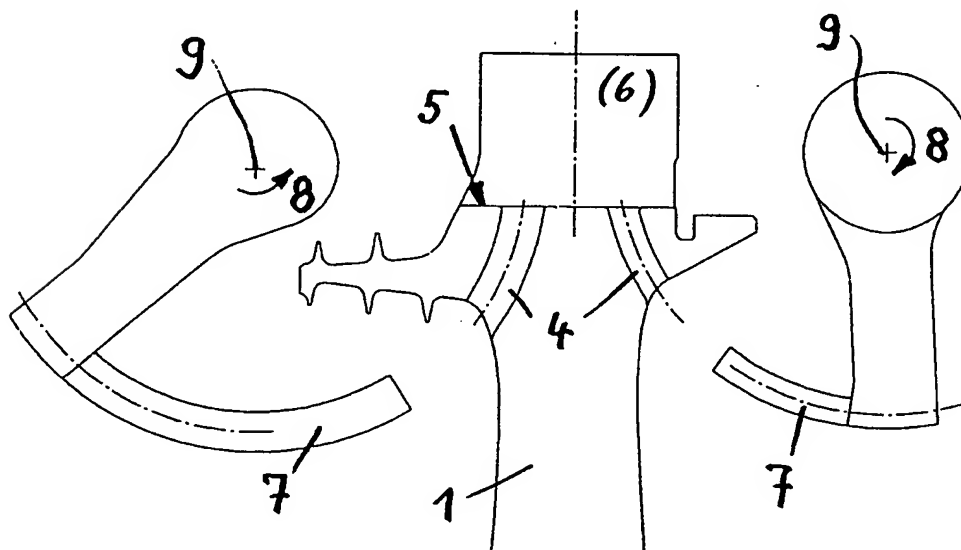
1. Verfahren zum Erzeugen eines gekrümmten Kühlluftkanals (4) in einer luftgekühlten Turbinenschaufeln (2) tragenden Laufradscheibe (1), insbesondere einer Gasturbine, durch Elektroerosion oder elektrochemische Bearbeitung, dadurch gekennzeichnet, daß ein kreisbogenförmiges Werkzeug (7) zum elektroerosiven oder elektrochemischen Bearbeiten zum Einsatz kommt, das um das Zentrum (9) des kreisbogenförmig gekrümmten Kühlluftkanals (4) geschwenkt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkzeug (7) von nichtkreisförmigem, insbesondere elliptischem Querschnitt ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die durch den elektroerosiven oder elektrochemischen Abtrag entstandene Aufschmelzzone im Kühlluftkanal (4) durch Druckfließblappen mit einem viscoelastischen Schleifmedium entfernt wird.
4. Laufradscheibe, insbesondere einer Gasturbine, mit zumindest einem gekrümmten Kühlluftkanal (4) zur Versorgung der an der Scheibe (1) befestigten luftgekühlten Turbinenschaufeln (2) mit Kühlluft, dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlluftkanal (4) einen Kreisbogen beschreibt und im wesentlichen senkrecht zum Grund der Scheibennut (5) in diese austritt.
5. Laufradscheibe nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlluftkanal (4) einen nichtkreisförmigen Querschnitt besitzt.
6. Laufradscheibe nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlluftkanal (4) einen elliptischen Querschnitt (10) besitzt, wobei die Längsachse der Ellipse in Umfangsrichtung weist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



*Fig. 1 \**



*Fig. 2*

